

Original document

## OPTICAL TRANSMISSION RECEIVER

Publication number: JP2000261026

Publication date: 2000-09-22

Inventor: SHIRAI MASATAKA; KATSUYAMA TOSHIO

Applicant: HITACHI LTD

Classification:

- international: **H01L31/107; H01L31/102**; (IPC1-7): H01L31/107

- european:

Application number: JP19990057774 19990305

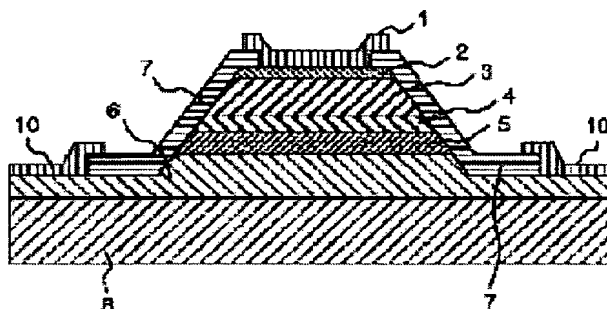
Priority number(s): JP19990057774 19990305

[View INPADOC patent family](#)

[Report a data error here](#)

### Abstract of JP2000261026

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To form an avalanche photodiode, using Si for a multiplication layer on a Si substrate with a single substrate process, without a bonding process by using beta iron silicide as the absorption layer of the avalanche photodiode. **SOLUTION:** An n+Si contact layer 6 is formed on a Si semi-insulating substrate 8 and then an n-Si multiplication layer 5 is formed. An undoped Si mixed with no impurity is grown, thereafter is implanted with Fe, and is annealed at a temperature of 900 deg.C for 24 hours to form a beta iron silicide absorption layer 3. Furthermore, a Si crystal grown layer having Zn added thereto is formed on the layer 3, and then Zn is diffused from the surface of the crystal grown layer to form a p-type Si-clad layer 3 and a p-type contact layer 2. Finally, a p-type electrode 1 is formed by the evaporation of Zn/Au and etching, and an n-type electrode 10 is formed by the evaporation of Al and etching.



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

1  
2  
3  
4  
5

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2000-261026  
(P2000-261026A)

(43)公開日 平成12年9月22日(2000.9.22)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

デマコト\* (参考)

H 0 1 L 31/107

H 0 1 L 31/10

B 5 F 0 4 9

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 5 頁)

(21)出願番号 特願平11-57774

(22)出願日 平成11年3月5日(1999.3.5)

(71)出願人 000003108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 白井 正敬

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 勝山 俊夫

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74)代理人 100061893

弁理士 高橋 明夫 (外1名)

最終頁に続く

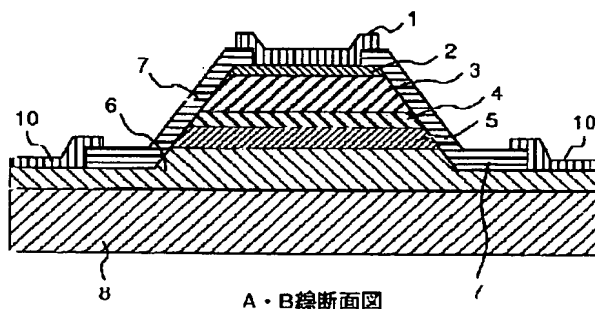
(54)【発明の名称】 光伝送受信機

(57)【要約】

【課題】Si増倍層を採用しながら単一基板上プロセスによる形成が可能なAPDを用いた光伝送受信機を提供すること。APDと受信回路を同一チップ上に形成した光伝送受信機を提供すること。

【解決手段】Si増倍層採用のAPDの吸収層にベータ鉄シリサイドを採用する。受信回路を搭載するSi基板上にSi増倍層を形成し、当該増倍層の上にベータ鉄シリサイドによる吸収層を形成してAPDを形成する。

図 2



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光受信素子と、当該素子の出力信号を処理する受信回路とからなる光伝送受信機において、前記光受信素子は、Siからなる増倍層とベータ鉄シリサイドからなる吸収層とを有する単一基板上に形成したアバランシェフォトダイオードであることを特徴とする光伝送受信機。

【請求項2】 前記アバランシェフォトダイオードの光の入射方向が基板表面にほぼ垂直な方向であることを特徴とする請求項1に記載の光伝送受信機。

【請求項3】 前記アバランシェフォトダイオードは、光の入射方向に光信号を伝播させる光導波路を有する光導波路型であることを特徴とする請求項1に記載の光伝送受信機。

【請求項4】 前記アバランシェフォトダイオードと前記受信回路とが同一基板上に形成されていることを特徴とする請求項1～請求項3のいずれか一に記載の光伝送受信機。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光信号を受信して電気信号を出力する光通信用の光伝送受信機、特に光受信素子にアバランシェフォトダイオード（以下「APD」という）を用いた光伝送受信機に関する。

【0002】

【従来の技術】光通信システムは、幹線系通信を含む光通信網、コンピュータ間を結ぶ光接続システム、光構内通信システムなどの広い分野で発展しつつある。更に、インターネットの普及及び発展に伴い、家庭への大容量の情報伝送に光通信システムを利用しようとする動きも出てきている。

【0003】このような光通信システムの基本をなす機器として、電気信号を光信号に変えて送信する光伝送送信機と、光信号を電気信号に変える光伝送受信機がある。従来、光伝送受信機に用いる光受信素子は、主にInP系化合物半導体を用いて作られてきた。理由は、光通信で最もよく用いられる1.3μm帯及び1.55μm帯の光を効率良く吸収する信頼性の高い材料がInP基板上に形成することができるからである。

【0004】光受信素子の一般的な構造にPINと、それよりも受信感度を向上させたAPDがある。PINとAPDは、共に光の吸収層を持ち、吸収層において入射光の光子をキャリア（電子及び正孔）に変換するが、APDは、更にキャリア増倍層を備え、発生したキャリアを増倍して高感度となる。キャリア増倍層は、イオン化率比が大きい程信号対雑音比が向上し、感度が高まる特性がある。なお、イオン化率比は、電子と正孔の衝突イオン化率の比を表わすもので、比較の対象を電子と正孔のいずれにするかによって、比が大きい又は小さいの表現になるが、ここでは「大きい」の方を採ることとす

る。上記のInP系材料は、吸収層には優れた材料であるが、イオン化率比がさほど大きくなく、そのため増倍層用には不十分という問題点があった。

【0005】一方、イオン化率比が大きい材料にSiがある。しかし、Siは、InP系とは結晶構造が異なり、吸収層にInP系を用い、増倍層にSiを用いようとしても、これら二者を単一基板上に形成することは不可能である。従って、二者を別々に作製し、その後両者を張り合わせることによってAPDを作製する方法が採用されていた〔例えば米国文献アプライド・フィジクス・レタ（Applied Physics Letter）第70巻第3号（1997年1月発行）第303頁～第305頁参照〕。

【0006】この方法では、張り合わせという手間の掛かる工程を伴い、製造コストが上がる。従って、そのようなAPDを採用した光伝送受信機が高価になるという問題点があった。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】増倍層にSiを採用したAPDを張り合わせによらず、単一基板上プロセスによって形成することができれば、低コストのAPDを実現し、実用性の高い光伝送受信機を実現することができる。

【0008】本発明の目的は、従来技術の前記問題点を解決し、Si増倍層を採用しながら単一基板上プロセスによる形成が可能なAPDを用いた光伝送受信機を提供することにある。

【0009】さて、光伝送受信機は、通常、光受信素子のほか、当該素子の出力の電気信号を処理する受信回路によって構成される。受信回路は、例えば、光受信素子からの電気信号（デジタル信号）を増幅する前置増幅器、当該増幅器出力の波形のなまったデジタル信号を波形の整った信号に再生する識別器、再生したデジタル信号をより遅い速度の信号に変換するDMUX（Demultiplexor）回路等からなり、これらの回路を同一のSi基板に1チップで形成する場合がある他、各回路をプリント基板上に配置し、それらを印刷配線によって相互に結線して受信回路とする場合がある。

【0010】受信回路をSi基板に1チップで形成する場合、光受信素子もこの基板に形成することができれば、光伝送受信機を1チップで形成することが可能になり、光伝送受信機を著しく低コスト化することができる。しかし、前記したように、従来のAPDは、Si基板への単一基板上プロセスによる形成が不可能である。

【0011】本発明の別の目的は、APDと受信回路を同一チップ上に形成することができる光伝送受信機を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の前記目的は、吸収層にベータ鉄シリサイド（ $\beta\text{-FeSi}_2$ ）を採用することによって効果的に解決することができる。ベータ鉄

シリサイドがSi基板上に形成可能な材料であり、従って増倍層にSiを採用することが可能になるからである。また、ベータ鉄シリサイドは、直接遷移半導体であって、バンドギャップが0.8~0.95 eVであり、吸収係数は、 $10^5 \text{ cm}^{-1}$ と大きな値を示す。このような材料特性により、ベータ鉄シリサイドを採用した光受信素子は、1.3  $\mu\text{m}$ 帯及び1.55  $\mu\text{m}$ 帯の光を効率良く吸収する特性を持ち、光通信用に好適である。

【0013】もっとも、ベータ鉄シリサイドの上記材料特性は、既に開示されていて公知であり、その太陽電池や光検出器への応用の可能性が示唆されている〔例えば米国文献「第15回熱電気国際会議論文(Contributed paper to XV INTERNATIONAL CONFERENCE ON THERMOELECTRICS)」(1996年3月26~29日開催)、Katsumata他“Optical, electrical and structural properties of polycrystalline  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> thin films fabricated by electron beam evaporation of ferrosilicon”参照〕。また、ベータ鉄シリサイドによる赤外線検出器や発光器のSi回路との集積化の可能性が示唆されている〔例えば米国文献ジャーナル・オブ・アプライド・フィジクス(Journal of Applied Physics)第74巻第2号(1997年7月発行)第1138頁~第1141頁参照〕。

【0014】但し、これらの文献は、材料特性から単に可能性を示唆しているのみで、素子や回路の構造については一切言及していない。

【0015】本発明の前記別の目的は、受信回路を搭載するSi基板上にSi増倍層を形成し、当該増倍層の上にベータ鉄シリサイドによる吸収層を形成することによって効果的に解決することができる。APDが受信回路を搭載するSi基板上に単一基板上プロセスによって形成されるので、光伝送受信機を1チップで構成することが可能となるからである。

【0016】なお、増倍層がSiからなるので、増倍層のイオン化率比を1より十分に大きくすることができる。これによって受信した電気信号の信号対雑音比を改善することができ、光伝送受信機の受信感度を3~5 dB向上させることができる。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る光伝送受信機を図面を用いた実施例による発明の実施の形態を参照して更に詳細に説明する。なお、図1~図5における同一の記号は、同一物又は類似物を表示するものとする。

【0018】

【実施例】<実施例1>まず、本実施例の光伝送受信機に用いるAPDを説明する。当該APDは、導波路型をなしており、その鳥瞰図を図1に示す。APDは、受光面11に垂直の方向に延びた光導波路12を有し、光導波路12に沿ってp型電極1及びn型電極10が設置される。光導波路12を有するAPDの構造をA・B線断

面により図2に示す。

【0019】同図において、4は、入射光の光子をキャリアに変換するベータ鉄シリサイドによる吸収層、5は、吸収層4からの電子を増倍して多数のキャリアを発生するn-Siによる増倍層である。

【0020】これらは、Si基板8の上に形成され、増倍層5と基板8の間に上記キャリアの一方をn型電極10に導くためのn<sub>+</sub>Siコンタクト層6が介在し、吸収層4とp型電極1の間に上記キャリアの他方をp型電極1に導くためのp型Siクラッド層3とp<sub>+</sub>Siコンタクト層2が介在する。p型電極1は、Zn/Auからなり、p<sub>+</sub>Siコンタクト層2の上に形成され、n型電極10は、Alからなり、n<sub>+</sub>Siコンタクト層6の上に形成される。これらの各層は、ポリイミドパッシベーション層7によって保護される。

【0021】以上のAPDの製作工程を述べる。まず、MBE(Molecular Beam Epitaxy)装置を用いて結晶成長により、Si半絶縁基板8の上に、n<sub>+</sub>Siコンタクト層6を0.3  $\mu\text{m}$ 形成し、続いてn-Si増倍層5を0.4  $\mu\text{m}$ 形成した。このとき、コンタクト層6はB(硼素)を $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 添加し、増倍層5はBを $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 添加した。

【0022】続いて、不純物の混入のないアンドープSiを0.4  $\mu\text{m}$ 成長させた後、Feのインプラントレーション(打込み)及び900℃でのアニールを24時間行なうことにより、ベータ鉄シリサイド吸収層3を形成した。更に、その上にZn添加のSi結晶成長を0.9  $\mu\text{m}$ 行なわせ、次に、その結晶成長層の表面から0.2  $\mu\text{m}$ の深さまでZnを拡散させ、0.7  $\mu\text{m}$ のp型Siクラッド層3と0.2  $\mu\text{m}$ のp<sub>+</sub>Siコンタクト層2を形成した。最後に、Zn/Auの蒸着とエッチングにより0.4  $\mu\text{m}$ 厚のp型電極1を形成し、Alの蒸着とエッチングにより0.4  $\mu\text{m}$ 厚のn型電極10を形成した。

【0023】上記から明らかなように、本発明のAPDは、張り合わせによる工程を採用することなく単一基板上プロセスによって作製され、低コストとなる。

【0024】以上のようにして作製したAPDにおいて、受光面11に垂直の方向に延びる光導波路12が形成される。この光導波路12を光信号が伝播するが、上記発生したキャリアも光信号に平行に伝播するので進行波型の導波路が形成される。従って、本実施例のAPDは、進行波型導波路光受信素子となる。なお、p型電極1を信号線とし、n型電極10を接地して、両電極をコプレーナ型のマイクロ波線路とした。

【0025】導波路型の光受信素子を形成することによって基本的には量子効率を低下させずに帯域を延ばすことが可能となり、1.3  $\mu\text{m}$ ~1.55  $\mu\text{m}$ 帯の光波長領域において、帯域50 GHz、帯域利得積900 GHzのAPDを作製することができた。

【0026】次に、以上のAPDを採用して形成した光

伝送受信機を図3に示す。同図において、20は、光伝送受信機の各部を配置するためのプリント基板、21は、上述のAPD、22は、APD21の出力の電気信号（デジタル信号）を処理する受信回路を示す。更に、受信回路22は、APD21出力のデジタル信号を増幅する前置増幅器23、前置増幅器23の利得を自動的に調節するAGC回路(Automatic Gain Controller)24、AGC回路24出力のデジタル信号を入力して波形の整ったデジタル信号を再生して出力する識別器25、識別器25出力のデジタル信号からクロック信号を抽出する回路26、識別器25出力のデジタル信号を複数のより遅い速度の信号に変換するDMUX回路27からなり、これらの回路間及びAPD21と前置増幅器23の間が印刷配線28によって結線されている。なお、AGC回路24出力のデジタル信号は、波形がなまっているが振幅が自動利得調節によってほぼ一定になっている。

【0027】本実施例の光伝送受信機は、吸収層にベータ鉄シリサイドを用いた単一基板上プロセスによるAPD21を採用することによって低コストであり、更にAPD21の大きな利得帯域積によって広帯域かつ高感度とすることができた。

【0028】＜実施例2＞本実施例は、APDを基板に垂直に入射した光を受ける構造とし、当該APDと受信回路を同一チップ上に形成して光伝送受信機としたものである。APDの断面構造を図4に示す。本実施例のAPDは、円錐台形状に形成されるが、断面構造は、実施例1のAPDと類似している。実施例1のAPDと比較して、クラッド層3を省略し、一方、吸収層4と増倍層5との間にp-Si電圧降下層9を設け、更に、増倍層5とコンタクト層6の間にn型Siバッファ層13を設けた。基板8の材料は、実施例1の場合と同じ半絶縁Siである。半絶縁Siは、 $1.3\mu\text{m}$ 帯～ $1.55\mu\text{m}$ 帯の光を透過する特性を有している。

【0029】以上のAPDの製作工程を次に述べる。まず、MBE (Molecular Beam Epitaxy) 装置を用いて結晶成長により、Si半絶縁基板8の上に、順に、n-Siコンタクト層6が $0.2\mu\text{m}$ 、n型Siバッファ層13が $0.2\mu\text{m}$ 、n-Si増倍層5が $0.4\mu\text{m}$ 、p-Si電圧降下層9が $0.3\mu\text{m}$ となるように形成した。その際、コンタクト層6はBを $8\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 添加し、バッファ層13はBを $5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 添加し、増倍層5はBを $3\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 添加した。また、電圧降下層9はZnを $3\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 添加した。

【0030】続いて、不純物混入のないアンドープSiを $0.7\mu\text{m}$ 成長させた後、Feのインプラネーション及び $900^\circ\text{C}$ でのアニールを24時間行うことにより、ベータ鉄シリサイド吸収層4を形成した。更に、表面から $0.2\mu\text{m}$ の深さまでZnを拡散させ、 $0.2\mu\text{m}$ のp-Siコンタクト層2を形成した。これによって吸

収層4は、 $0.5\mu\text{m}$ 厚となる。

【0031】最後に、Zn/Auの蒸着とエッチングにより $0.4\mu\text{m}$ 厚のp型電極1を形成し、Alの蒸着とエッチングにより $0.4\mu\text{m}$ 厚のn型電極10を形成した。

【0032】上記から明らかなように、本発明のAPDは、張り合わせによる工程を用いることなく単一基板上プロセスによって作製することができ、低コストとすることができた。

【0033】また、吸収層4において量子効率が0.6となり、また増倍層5において1より十分大きいイオン化率比が得られたことから、イオン化率比に比例する利得帯域積は、増倍層が従来のInPである場合に比べて4倍～10倍改善され、 $300\text{GHz}$ が得られた。更に、同じビットレートと比較した場合、最小受信レベルを3～5dB改善することができた。

【0034】次に、以上のAPDを採用して形成した光伝送受信機を図5に示す。同図において、29は、本実施例のAPDであり、その基板8に受信回路22を集積化して形成し、光伝送受信機を1チップで形成した。受信回路22の回路構成は、実施例1の場合と同じである。受信回路22の回路規模は比較的大きく、高集積技術を必要とするが、本実施例では、そのような受信回路22の集積化を容易に実現することができた。

【0035】このように、APDにベータ鉄シリサイドを用いることによって、集積度の高い回路とAPDを同一チップ上に形成することができ、高機能の光伝送受信機を低コストで実現することができた。

【0036】なお、本実施例のAPDは、単体の素子として作製し、実施例1の場合のようにプリント基板に設置することが可能である。

【0037】更に、同一基板に形成したAPD21は、実施例1の場合の導波路型とすることが可能である。その場合は、基板の側面から光を入射させる。

【0038】

【発明の効果】本発明によれば、増倍層にSiを用いるAPDの吸収層にベータ鉄シリサイドを採用することにより、APDを、張り合わせによらずに、Si基板に単一基板上プロセスによって形成することが可能となる。更に、そのため、受信回路とAPDを同一チップに形成することができ、低コストで高機能の光伝送受信機を実現することができる。ベータ鉄シリサイドを採用した本発明のAPDは、従来のInPによるAPDに比べ、利得帯域積が4倍から10倍向上し、同じビットレートで受信感度が3～5dB向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る光伝送受信機の第1の実施例に用いるAPDを説明するための鳥瞰図。

【図2】本発明の第1の実施例に用いるAPDを説明するための構造図。

【図3】本発明の第1の実施例を説明するための構成図。

【図4】本発明の第2の実施例に用いるAPDを説明するための構造図。

【図5】本発明の第2の実施例を説明するための構成図。

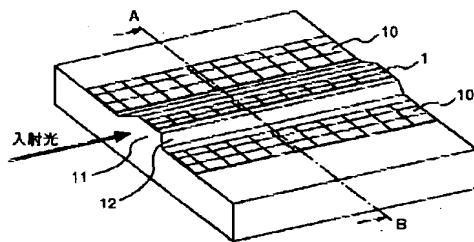
【符号の説明】

1…p型電極、2…p<sub>+</sub>Siコンタクト層、3…p型Si

クラッド層、4…ベータ鉄シリサイド吸収層、5…n<sub>-</sub>Si増倍層、6…n<sub>+</sub>Siコンタクト層、7…ポリイミドパッシベーション層、8…Si半絶縁基板、9…p<sub>-</sub>Si電圧降下層、10…n型電極、11…受光面、12…光導波路、13…n型Siバッファ層、20…光伝送受信機、21, 29…APD、22…受信回路、23…前置増幅器、25…識別器。

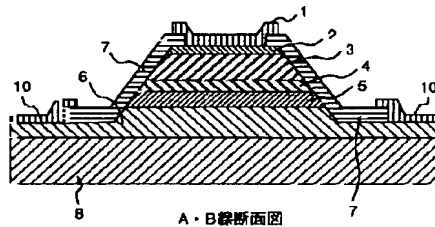
【図1】

図 1



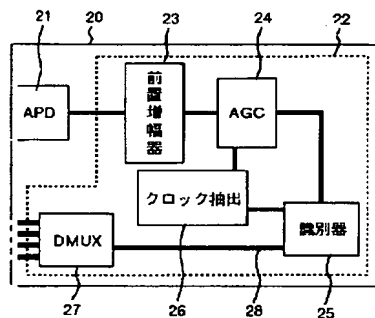
【図2】

図 2



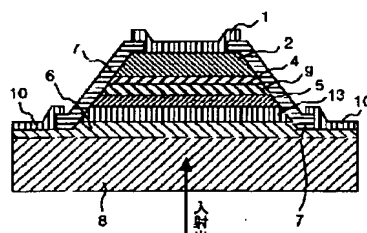
【図3】

図 3



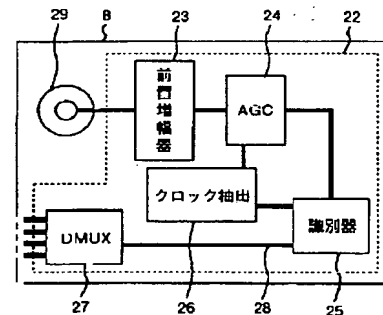
【図4】

図 4



【図5】

図 5



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F049 MA08 MB01 MB03 MB07 MB12  
NA01 NA03 NA18 NB01 PA10  
PA11 PA20 QA02 QA08 RA06  
SE05 SS03 SZ12 WA01

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**